

燃料電池金属セパレータのプレス加工に関する基礎的研究

神奈川県立 自動車システム開発工学科

助教 加藤俊二

(平成 18 年度一般研究開発助成 AF-2006007)

キーワード:燃料電池、セパレータ、サーボプレス

1. はじめに

水素と酸素を反応させて電気を取り出す燃料電池は、二酸化炭素や大気汚染の原因となる窒素酸化物、炭化水素、一酸化炭素、浮遊粒子状物質を排出せず、地球環境へ及ぼす影響が小さいという特徴がある。このため、精力的に研究開発が進められ、現在までに様々な種類の燃料電池が開発されているが、自動車用や家庭用など小型のエネルギー源として固体高分子型燃料電池(以下 PEFC)が注目されている¹⁾。PEFCの主要部品の一つとして、反応ガスを電極へ供給し、集電を行うセパレータがある。現在、一般的なセパレータは、黒鉛を固めて切削加工されているため、生産性が劣り、製造コストが高くなるという問題がある。このようなセパレータを自動車用で1台当たり 1000 枚弱、家庭用で 100 枚弱重ねて使用する必要があるため、燃料電池は非常に高価になる。このため、燃料電池の普及には、セパレータの大幅なコストダウンを図る必要がある。

そこでプレス加工が可能な金属製セパレータの開発が望まれ、ステンレス系とチタン系の材料開発が行われている²⁾³⁾。これらの極薄板をプレス加工でセパレータに成形することができれば、黒鉛製の数十分の一のコストを実現することができるといわれている。本研究では、プレス加工法を用いてステンレス製セパレータを成形するための基礎的な知見を得ることを目的とした。

2. 加工モーションの違いによる溝形状への影響

2・1 目的

極薄板のセパレータのサーボプレスによるプレス加工において加工条件が加工精度に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。さらに、低周波振動を加えたプレス加工実験を行い、通常のプレス加工法と比較し、低周波振動プレス加工の有効性についても検討を行った。

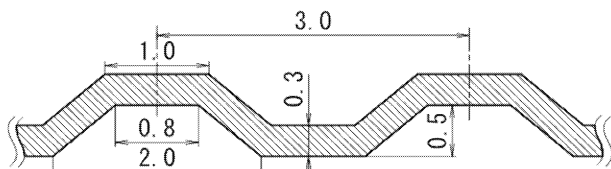


図1 セパレータ断面形状

2・2 実験方法

図1に示すセパレータ断面形状を目標寸法とし、試験片とし

て0.3×130×160mmのステンレス(SUS304)薄板を用い、放電精密加工研究所製サーボプレス MPS8300DS を用いてプレス加工実験を行った。図2に外観を示す。このサーボプレスは図3に示す様にダブルスライド構造になっており、インナー、アウターのプレスモーションおよびストローク量を独立して設定可能である。

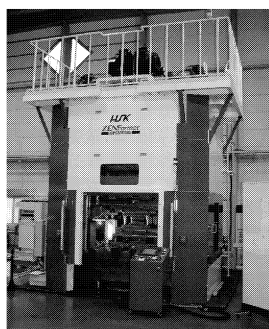


図2 サーボプレス

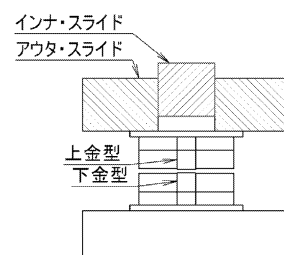


図3 ダブルスライド構造

加工荷重はインナー1960kN、アウター980kN とし、図4、5に示す加工モーションを用いて実験を行った。各モーションにおける加工条件を表1、2に示す。

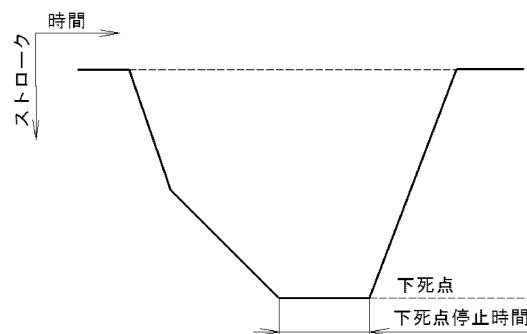


図4 ノーマルモーション

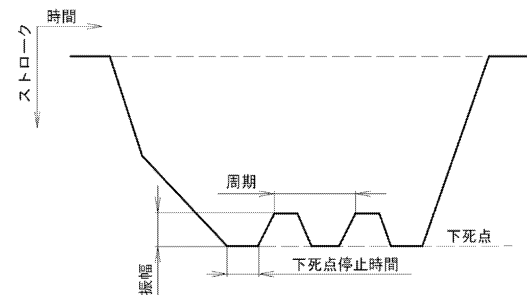


図5 低周波振動モーション

表1 加工条件(ノーマルモーション)

下死点停止時間(秒)	加工速度(mm/s)
0.6	5
3.0	5, 10, 15
6.0	5

表2 加工条件(低周波振動モーション)

下死点停止時間(秒)	振動周期(秒)	振幅(mm)	加工打数(回)
0.6	2.0	0.1	2, 3, 4
		0.2	2, 3, 4
		0.3	2, 3, 4

加工後の試験片形状を図6の矢印の方向に、レーザー変位計(キーエンス LKG-30、最小計測単位 0.01 μm)を用いて計測した。試験片形状の測定結果から溝深さ、溝深さのばらつき、平坦部の長さを求めた。溝深さのばらつきは標準偏差を用いて評価した。

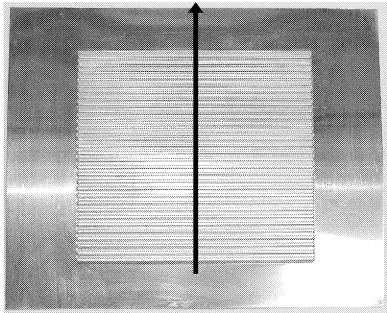


図6 加工後の試験片

2・3 実験結果

図7にノーマルモーションにおける下死点停止時間と溝深さおよび標準偏差との関係を示す(加工速度 10mm/s)。下死点停止時間 0.6 秒と比較して 3.0 秒及び 6.0 秒では溝が深く成形されていることがわかる。この理由は下死点停止時間が 0.6 秒の場合、下死点でインナーライドが十分に停止せず、試験片に十分な荷重が掛からないためだと考えられる。この関係はトレースデータ(時間に対するインナーライドの変位および加工荷重の関係)で確認している。

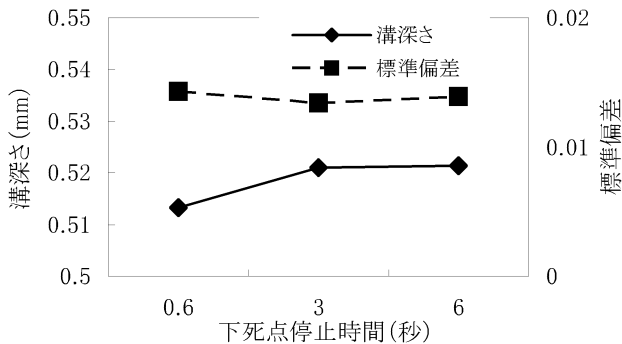


図7 下死点停止時間と溝深さおよび標準偏差との関係

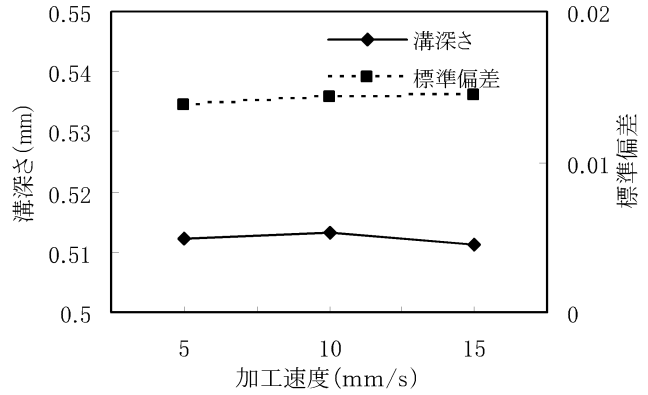


図8 加工速度と溝深さおよび標準偏差との関係

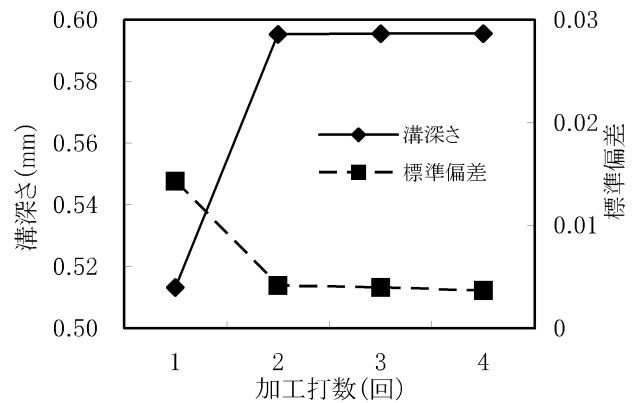


図9 加工打数と溝深さおよび標準偏差との関係

次に下死点停止時間を一定(0.6 秒)とし、加工速度を変化させた場合の溝深さと標準偏差との関係を図8に示す。この図から加工速度の影響はほとんどないことがわかる。

図9に低周波振動モーション(振動振幅 0.1mm)における加工打数と溝深さおよび標準偏差との関係について示す。ここで、加工打数1回はノーマルモーションを指す。2打数以上で溝深さの顕著な向上がみられ、ばらつきも著しく減少している。

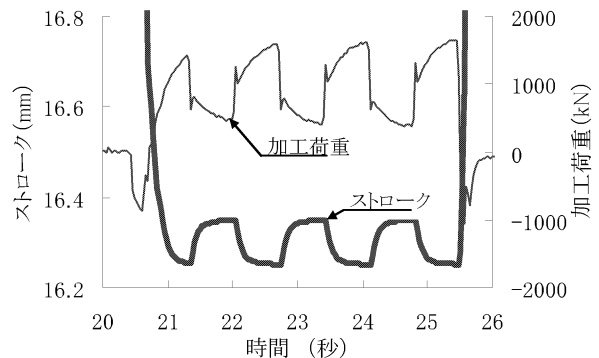


図10 トレースデータ

この理由は図10に示すプレス機のトレースデータから次の様

に考えられる。低周波振動加工の 1 打目では実際の下死点停止時間が設定値に対して短く、試験片に十分な荷重が加わっていないが、2 打数目以降では実際の下死点停止時間がほぼ設定した値になり、加工荷重も上昇している。これが 2 打数以降で溝深さが向上し、ばらつきが減少する理由であると考えられる。

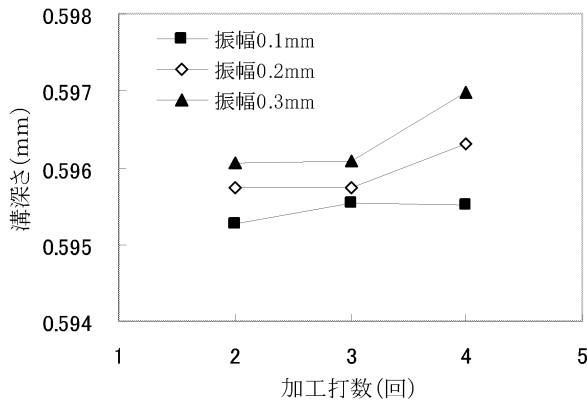


図11 加工打数と溝深さの関係

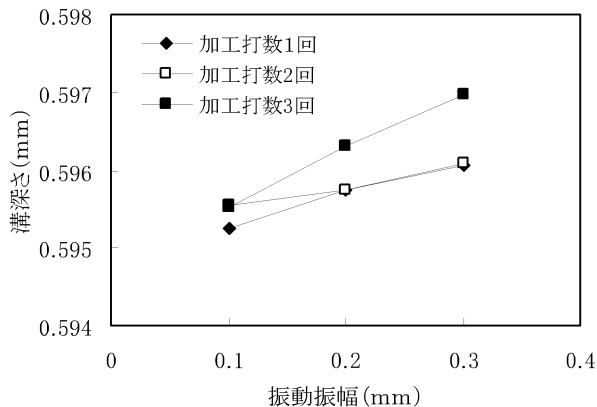


図12 振動振幅と溝深さの関係

図11に各加工振幅における加工打数と溝深さの関係を示す。この図から加工打数の増加とともに溝が深くなることわかるが、これはハンマリング効果⁴⁾⁵⁾によるものだと考えられる。図12に溝深さに対する振幅の影響を示す。振幅の増加にともない溝が深く成形されることがわかる。この実験では振動の周期は等しく振幅を増加させるとインナーライドの移動速度が増加し、衝撃荷重が上昇するためだと考えられる。

図13は金型(上型)と加工後の試験片の断面形状の一例である。溝の深さはほぼ金型の深さまで成形されているが、山部および谷部の形状は金型と大きく異なり平坦部がほとんど成形されていない。図14は加工打数と山部の平坦部長さを示したものである。この図から加工打数の増加にともない平坦部長さが増加することがわかるが、目標寸法に対してほとんど成形されていない。これは、加圧荷重の不足が原因であると考え

えられる。

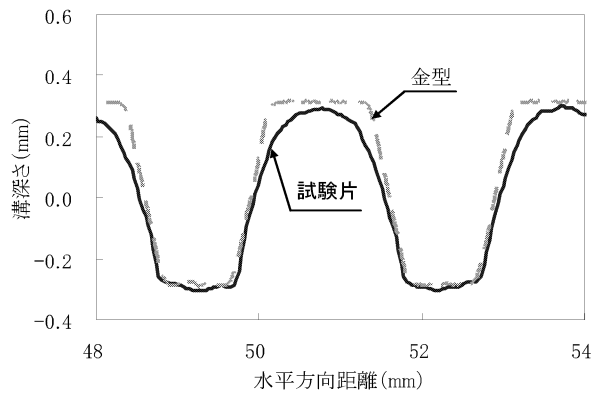


図13 金型と試験片の断面形状

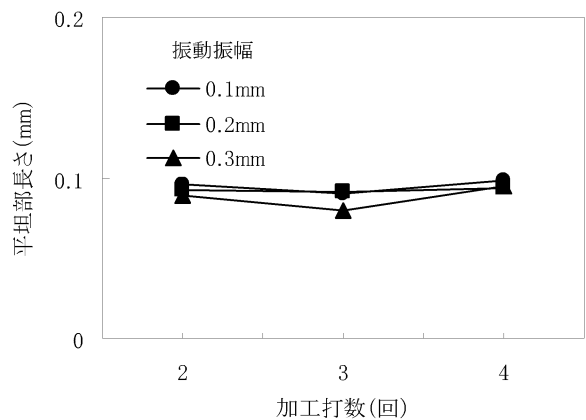


図14 加工打数と平坦部長さの関係

3. 金型形状および板厚の違いによる溝成形への影響

3・1 目的

前項の実験結果から低周波振動モーションを用いてプレス加工を行うとノーマルモーションの場合と比較して成形される溝を深くできることが明らかになっている。さらに加工打数および振動振幅を増加させることで溝深さを深くできる。一方、溝の山部および谷部では金型に十分密着せず、平坦部分が十分に成形されなかった。

そこで十分な平坦部長さを得ることを目的とし、溝傾斜面角度および溝深さの異なる金型を試作し、試験片の板厚を板厚 0.2mm および 0.1mm とし低周波振動モーションを用いて実験を行った。

3・2 実験方法

板厚 0.2mm および 0.1mm の 100×100mm のステンレス SUS304 薄板を試験片として用いた。

図15に加工後の試験片、図16にセパレータ目標寸法断面形状を示す。表3に実験に用いた各金型寸法を示す。

傾斜面の角度 $\theta = 45^\circ$ を標準型とし、スプリングバックを考慮して $\theta = 30^\circ$ とした型、さらに溝深さを 0.2mm 深くした3種類の金型を実験に用いた。

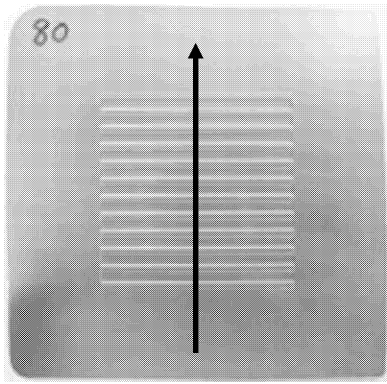


図15 加工後の試験片(板厚 0.2mm)

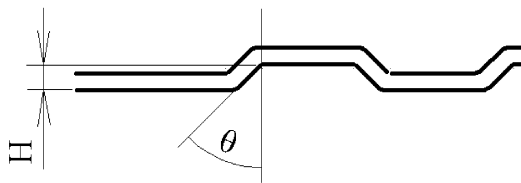


図16 セパレータ断面形状

表3 セパレータ形状

金型形状	傾斜面角度 θ (°)	溝深さH(mm)
A	45	0.3
B	30	0.3
C	30	0.5

2項で使用したサーボプレス MPS8300DS を用い低周波振動モーションを用いて実験を行った。

振動周期は2秒とし、振動振幅と加工打数は表4に示す組合せを用いた。なお、金型 A では下死点停止時間を 0.6 秒、金型 B・C では下死点停止時間を 1 秒とした。

表4 振動条件

振動周期(秒)	振幅(mm)	加工打数(回)			
		1	2	3	4
2	0.1	I	II	III	IV
	0.2				V
	0.3				VI

加工後の試験片形状を図15の矢印の方向に、レーザー変位計を用いて計測を行い、試験片形状の計測結果から溝深さと平坦部長さを求めた。なお、実験条件の表記は表4より、金型+加振条件と表記する。例えば、金型 A の加振条件IVの場合、A-IV と表記する。

3・3 板厚 0.2mm の実験結果

図17は金型Aを使用し、振幅 0.1mm、加工打数4の場合の加工後の試験片と金型の断面形状を比較した図である。

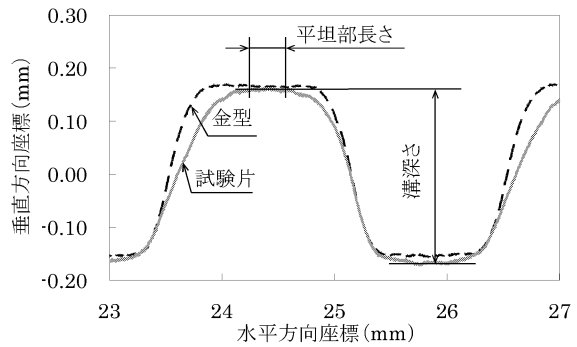


図17 試験片と金型の断面形状の比較

この図から溝深さは金型の寸法とほぼ同一になっているが、金型の角部に隙間が生じていることがわかる。そこで目標寸法に対する成形割合を次に示す充填率で評価し、金型形状、振動条件との関係について調べた。

充填率 = 試験片山部の平坦部長さ / 金型の山部の平坦部長さ

ここで、充填率 1 は試験片が目標寸法の成形されたことを示す。図18に金型形状と充填率の関係を示す。この図から充填率は金型の溝斜面の角度を大きくする増加し、金型の溝が深くなると、さらに増加することがわかる。この理由は金型の溝斜面勾配を大きくし、溝を深くすると試験片の曲げ変形が増大し、試験片の頭頂部が金型の平坦部に早く接触するためだと考えられる。

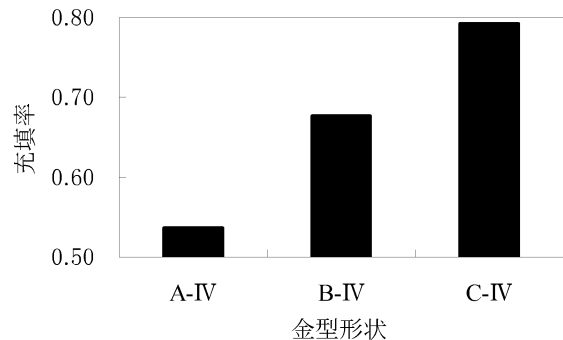


図18 金型形状と充填率の関係

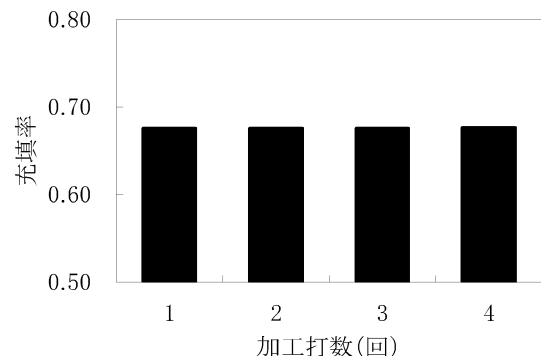


図19 加工打数と充填率の関係

次に、金型 B を用いた場合の溝形状に対する加工打数、振動振幅の影響を検討した。図19に加工打数と充填率の関係、図20に振動振幅と充填率の関係を示す。この結果から、加工打数、振幅を

増加させても充填率はほとんど変化しないことがわかる。これは、溝の形状に対して板厚が厚いため、曲げ剛性が高く低周波振動を加えてもその影響があまり現れないためだと考えられる。

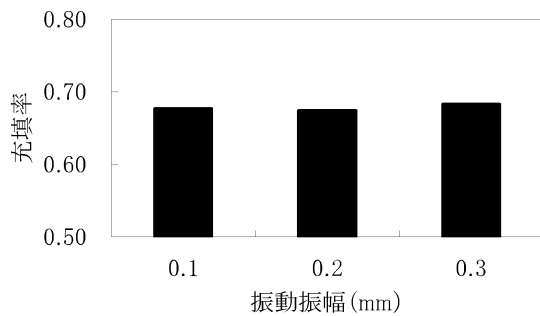


図 20 振動振幅と充填率の関係

3. 4 板厚 0.1mm の実験結果

板厚の影響を調べるため板厚 0.1mm の試験片で加工実験を行った。金型 B を用いて同一条件で加工を行った結果、0.2mm 厚の試験片と比べ、平坦部の長さが増加した。

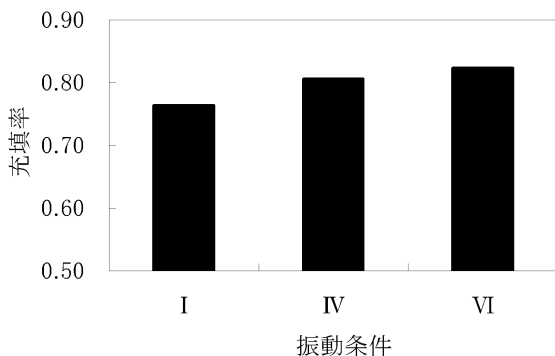


図 21 振動条件と充填率の関係

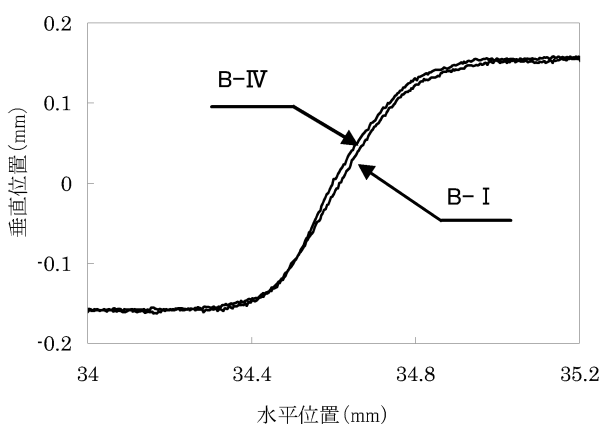


図 22 加工条件と溝角部断面形状

図 21 に振動条件と充填率の関係を示す。この結果から板厚 0.2mm の場合と比較して充填率は向上し、低周波振動の効果もあらわれていることがわかる。これは、板厚が薄くなったことで曲げ剛性が低下し、角部に材料が充填しやすくなったた

めと考えられる。また、加工打数、振動振幅を増加させると充填率が向上するばかりではなく、図 22 に示すよう、振動の効果が傾斜面にも現れる。

4. まとめ

(1) 板厚 0.3mm の試験片を用いて加工モーションの違いによる溝形状への影響を検討した結果、以下のことが明らかになった。

- ・ノーマルモーションにおいて下死点停止時間が長くなると溝が深く成形される。一方、加工速度の溝深さへの影響はほとんどみられない。

- ・低周波振動モーションを用いるとノーマルモーションに比較して溝を深く成形することができ、加工打数、振動振幅の増加にともない成形される溝は深くなる。

- ・溝の平坦部は十分に成形されなかった。これは、試験片の曲げ剛性に対して加工荷重の不足が原因であると考えられる。

(2) 板厚 0.2mm および 0.1mm の試験片を用いて金型形状および板厚の違いによる溝成形への影響を検討した結果、以下のことが明らかになった。

- ・充填率は金型の溝斜面の角度を大きくすると向上し、金型の溝が深くなるとさらに向上する。

- ・板厚が 0.2mm の場合、低周波振動の充填率向上へ効果はほとんどみられなかった。これは、溝の形状に対して試験片の曲げ剛性が高いためだと考えられる。

- ・板厚が 0.1mm の場合、低周波振動の効果により充填率が向上する。また、この効果は角部だけでなく傾斜面にも現れる。

謝 辞

本研究の一部は天田金属加工機械技術振興財団の助成によって実施されたことを付記するとともに、同財団に深く感謝いたします。また、実験に協力された本学学生、篠 絢也、竹村佳彦、椎名廉並びに山口洗介君に謝意を表します。

参考文献

- 1) 堤敦司、槌屋治紀：燃料電池、2007、14、工業調査会。
- 2) 中川和彦、清藤雅宏、和島峰生、笹岡高明、沼田浩明：コンパクトな燃料電池用耐食金属セパレータの開発、日立電線、2007、No26、51-56。
- 3) 植田雅巳、橋本勝、森陽一、棚瀬繁雄、青井芳史、岩佐美喜男、境哲男：燃料電池向けメタルセパレータの開発(第1報)、クリモト技報、2006、No. 55、2-6。
- 4) 日本塑性加工学会編：超音波応用加工、2004、43、森北出版。
- 5) 萩野直人、遠藤順一、加藤俊二、奥寺清二、丸山雅生：精密コイニングによる流体動圧軸受の加工、平成 19 年度塑性加工春季講演会論文集、2007、229-230。